



First- and Second-level Bayesian Inference of Flow Resistivity of Sound Absorber and Room's Influence

Choi, Sang-Hyeon; Lee, Ikjin; Jeong, Cheol-Ho

Published in:

Winter meeting proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineers

Publication date:

2016

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Choi, S-H., Lee, I., & Jeong, C-H. (2016). First- and Second-level Bayesian Inference of Flow Resistivity of Sound Absorber and Room's Influence. In *Winter meeting proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineers*

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

흡음재 유동저항 및 측정실 영향의 1차 및 2차 베이지안 추론

최상현[†] · 이익진* · 정철호**

First- and Second-level Bayesian Inference of Flow Resistivity of Sound Absorber and Room's Influence

Sang-Hyeon Choi, Ikjin Lee and Cheol-Ho Jeong

Key Words: Bayesian Inference(베이지안 추론), Absorption Coefficient(흡음률), Flow Resistivity(유동저항), Room's Influence(측정실 영향)

Abstract

Sabine absorption coefficient is a widely used one deduced from reverberation time measurements via the Sabine equation. First- and second-level Bayesian analysis are used to estimate the flow resistivity of a sound absorber and the influences of the test chambers from Sabine absorption coefficients measured in 13 different reverberation chambers. The first-level Bayesian analysis is more general than the second-level Bayesian analysis. Sharper posterior distribution can be acquired by the second-level Bayesian analysis than the one by the first-level Bayesian analysis because more data are used to set more reliable prior distribution. The estimated room's influences by the first- and the second-level Bayesian analyses are similar to the estimated results by the mean absolute error minimization.

기호설명

f : 주파수
 Z_r : 토마스 방사 임피던스(Thomasson's original radiation impedance)⁽¹⁾
 Z_w : 표면 임피던스
 α_{Sab} : 사빈 흡음률(Sabine absorption coefficient)
 α_{room} : 측정실 영향
 θ : 입사각
 σ : 유동저항(flow resistivity)

문제점은 측정실의 영향을 크게 받는다는 점이다⁽³⁾.

이러한 문제점을 분석하기 위한 기존 연구로 평균절대오차 최소화 기법을 이용하여 각 측정실에서 측정된 데이터로부터 측정실과 상관 없는 흡음재 샘플의 물성치인 유동저항과 측정실의 영향을 추정할 바 있다⁽⁴⁾. 본 연구에서는 1차 베이지안 분석(first-level Bayesian analysis), 2차 베이지안 분석 기법을 각각 이용하여 흡음재 유동저항과 측정실의 영향을 추정하여 그 결과들을 기존 연구⁽⁴⁾와 비교하고자 한다.

1. 서론

사빈 흡음률은 잔향실에 흡음재 시편을 설치한 후 측정된 잔향시간(reverberation time)으로부터 사빈 방정식⁽²⁾을 통하여 계산되며 널리 사용되고 있는 흡음률이다. 사빈 흡음률의 대표적인

2. 베이지안 추론

실험결과와 예측결과의 오차를 최소화하는 방법으로 모수(parameter)를 추정하는 전통적인 방법을 사용할 때 실험데이터의 수가 충분하지 못할 경우 모수 추정의 신뢰성이 저하되게 된다. 이 때 유용하게 사용될 수 있는 방법이 베이지안 추론이다. 베이지안 추론을 이용하여 모수의 주관적인 견해와 실험 결과를 종합하여 얻은 모수의 불확실성을 확률로 나타낼 수 있다.

[†]회원, 한국항공우주연구원, 한국과학기술원

E-mail : shchoi@kari.re.kr

TEL : (042)860-2063

* 한국과학기술원

** Technical University of Denmark

모수의 주관적인 견해를 확률로 표현한 것을 사전확률이라 하며, 사전확률분포와 실험 결과를 종합하여 구한 모수의 불확실성을 나타낸 확률을 사후확률이라 한다.

베이저안 기법으로 구한 흡음재 유동저항과 측정실 영향의 사후결합확률밀도(posterior joint probability density)는 다음과 같이 우도함수(likelihood function) $f(D|\sigma, \alpha_{room})$ 와 사전결합확률밀도(prior joint probability density) $f(\sigma, \alpha_{room})$ 의 곱에 비례한다.

$$f(\sigma, \alpha_{room} | D) \propto f(D|\sigma, \alpha_{room}) \cdot f(\sigma, \alpha_{room}) \quad (1)$$

여기서 D 는 실험데이터를 이용하며 [13 측정실 × 18 주파수]의 데이터⁽⁴⁾를 이용하였다. 우도함수는 다음과 같이 가우시안 분포로 표현될 수 있다^(4,5).

$$P(D|\sigma, \alpha_{room}) \propto \exp\left(-\frac{\|\alpha_{pre} - \alpha_{Sab}\|_n}{2\sigma_\alpha^2}\right) \quad (2)$$

여기서 σ_α 는 측정결과로부터 구한 흡음률의 표준편차로 0.06을 사용하였다⁽⁴⁾. α_{pre} 는 해석모델로부터 예측된 흡음률로 아래의 수식을 사용하였다⁽⁴⁾.

$$\alpha_{pre}(\sigma, f) = 2 \int_0^{\pi/2} \frac{4 \operatorname{Re}(Z_w(\sigma, f, \theta))}{|Z_w(\sigma, f, \theta) + Z_r(f)|^2} \sin \theta d\theta + \alpha_{room} \quad (3)$$

2.1 1차 베이저안 분석

1차 베이저안 분석법은 일반적인 베이저안 분석 방법이다. 대부분의 실제 경우에 흡음재 유동저항과 측정실 영향은 알려져 있지 않으므로 사전분포로 균등분포(uniform distribution)를 사용하였으며, 흡음재 유동저항과 측정실 영향의 범위는 각각 0~50 kNsm⁻⁴, -0.1~0.2로 가정하였다. 각 측정실에 대하여 18개의 주파수에 대한 흡음률 데이터를 이용하여 2개의 모수인 흡음재 유동저항과 흡음실 영향을 추정하였다.

흡음재 시편의 유동저항과 측정실 영향은 서로 독립적이므로 사전결합확률밀도는 다음과 같이 두 모수의 사전주변확률밀도(joint marginal probability density)의 곱으로 구할 수 있다.

$$f(\sigma, \alpha_{room}) = f(\sigma) \cdot f(\alpha_{room}) \quad (4)$$

식 (1)을 이용하여 사후결합확률밀도를 구한 후 적분하면 아래와 같이 두 모수의 사후주변확률밀도를 구할 수 있다.

$$f(\sigma) = \int f(\sigma, \alpha_{room}) d\alpha_{room} \quad (5-1)$$

$$f(\alpha_{room}) = \int f(\sigma, \alpha_{room}) d\sigma \quad (5-2)$$

2.2 2차 베이저안 분석

1차 베이저안 분석에서 사전분포로 사용한 균등분포에 비해 더 실제에 가까운 사전분포를 이용하기 위하여 2차 베이저안 분석을 수행할 수 있다. 각 측정실에 대하여 1차 베이저안 분석 기법으로 구한 사후결합확률밀도(posterior joint probability density)의 각 측정실에 대한 평균을 2차 베이저안 분석의 사전결합확률밀도로 사용하여 분석하였다⁽⁶⁾.

3. 결과

3.1 1차 베이저안 분석

각 측정실에 대하여 1차 베이저안 방법을 이용하여 구한 흡음재 유동저항과 측정실 영향의 사후결합확률분포는 그림 1과 같다. 그림 1의 마지막 그림은 모든 측정실에 대하여 평균된 사빈흡음률을 이용하여 추정한 결과이다.

3.2 2차 베이저안 분석

각 측정실에 대하여 2차 베이저안 방법을 이용하여 구한 흡음재 유동저항과 측정실 영향의 사후결합확률분포는 그림 2와 같다. 전체적으로 1차 베이저안 분석 결과보다 더 분산이 작은 분포가 나오는데, 이는 모든 측정실의 데이터를 이용하여 사전 분포를 설정하였으므로 1차 베이저안 분석 시 사용한 사전 분포보다 더 신뢰할만한 사전 분포를 사용했기 때문이다. 그러나 서로 다른 측정실의 데이터가 섞여서 사전분포로 사용된다는 단점이 있다.

그림 1, 2의 마지막 그림인 모든 측정실에 대하여 평균된 사빈흡음률을 이용하여 1차 및 2차 베이저안 추정법을 통해 구한 흡음재 유동저항의 추정 결과는 그림 3과 같다. 그림 1, 2에서 관찰한 바와 같이 1차 베이저안 결과에 비해 2차 베이저안 결과가 분산이 작은 결과를 얻을 수 있었다. 그림 4는 두 가지 베이저안 분석법으로 추정한 각 측정실 영향의 평균을 오차 최소화

기법⁽⁴⁾을 통해 구한 결과와 비교한 것인데, 세 방법의 결과가 모두 유사한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

1차 및 2차 베이지안 분석법을 이용하여 측정된 잔향시간으로부터 계산된 사빈흡음률 데이터를 이용하여 흡음재 유동저항과 측정실 영향을 추정하였다. 1차 베이지안 분석은 일반적인 방법이며, 2차 베이지안 분석을 한 결과 더 분산이 작은 추정 결과를 얻을 수 있었다. 1차 및 2차 베이지안 분석법으로 구한 측정실 영향은 기존의 평균절대오차 최소화 기법으로 구한 결과와 유사한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 기술혁신사업(과제번호: 10048305, 모듈형 시스템 설계를 위한 플러그인 디지털 해석 프레임 워크 개발)의 지원을 받아 수행하였음을 밝힙니다. 본 연구의 초기 단계에 기여한 송준호씨에게 감사합니다.

참고문헌

- (1) Thomasson, S.-I., 1982, "Theory and experiments on the sound absorption as function of the area," Report TRITA-TAK 8201, *Royal Institute of Technology*, Sweden.
- (2) Morfey, C., 2001, *Dictionary of acoustics*, London, Academic Press.
- (3) Kosten, C. W., 1960, "International comparison measurement in the reverberation room," *Acta Acust. United Ac.*, Vol. 10, No. 5-6, pp. 400~411.
- (4) Jeong, C.-H. and Chang, J.-H., 2015, "Reproducibility of the Random Incidence Absorption Coefficient converted from the Sabine Absorption Coefficient," *Acta Acust. United Ac.*, Vol. 101, No. 1, pp. 99~112.
- (5) Kaipio, J. and Somersalo, E., 2004, *Statistical and computational inverse problems*, New York, Springer, pp. 227.
- (6) Guikema, S. D. and Paté-Cornell, M. E., 2004, "Bayesian Analysis of Launch Vehicle Success Rates," *J. Spacecraft Rockets*, Vol. 41, No. 1, pp. 93~102.

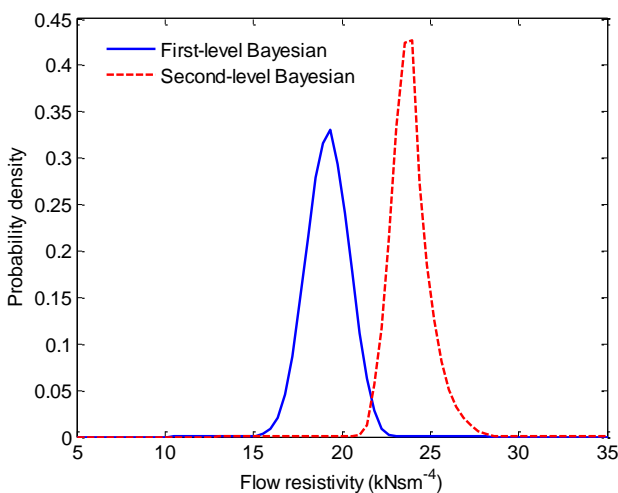


Figure 3 Posterior probability distributions of the flow resistivity.

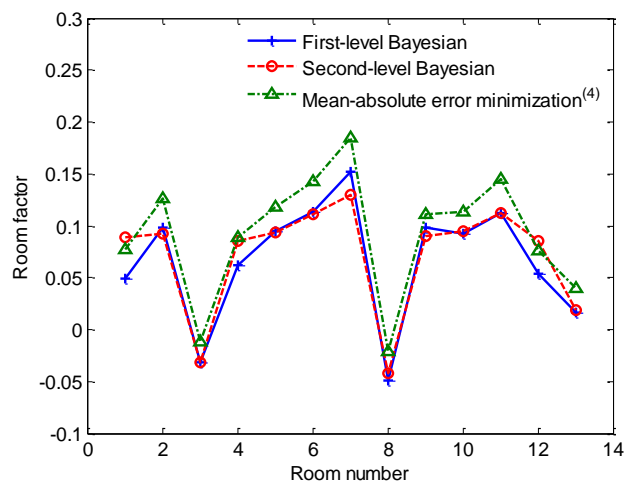


Figure 4 Comparison between the Bayesian-based room factors and the ones from the mean-absolute error minimization.

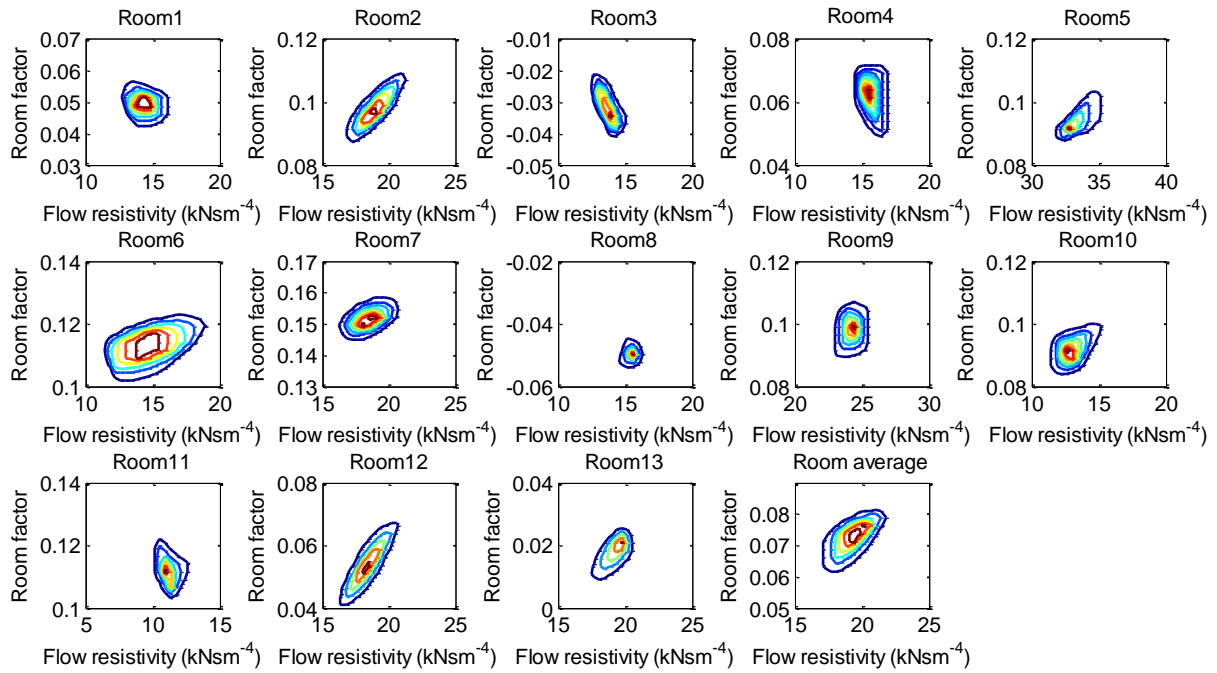


Figure 1 2D contour figures of the posterior probability distributions as a function of flow resistivity and room's influence for each chamber by first-level Bayesian analysis.

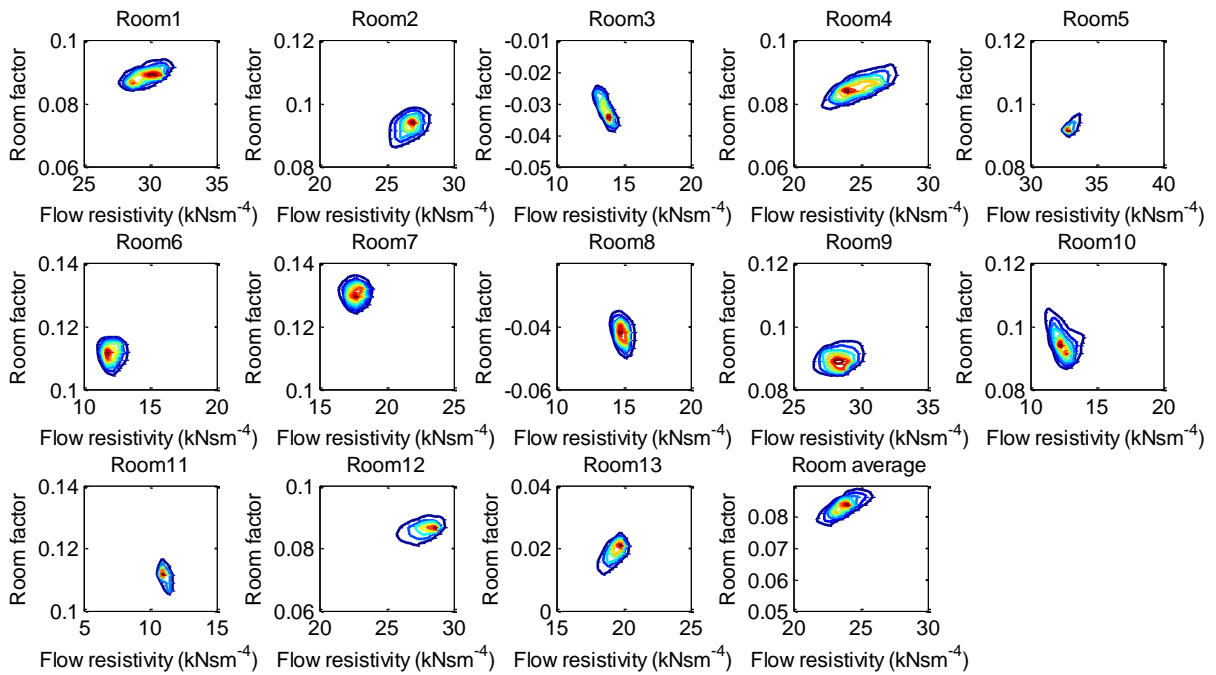


Figure 2 2D contour figures of the posterior probability distributions as a function of flow resistivity and room's influence for each chamber by second-level Bayesian analysis.